



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 44 10 440.5  
②② Anmeldetag: 25. 3. 94  
④③ Offenlegungstag: 10. 8. 95

DE 44 10 440 A 1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
03.02.94 IL 108546

⑦① Anmelder:  
The Israel Electric Corp. Ltd., Haifa, IL

⑦④ Vertreter:  
Grünecker und Kollegen, 80538 München

⑦② Erfinder:  
Shnaid, Isaac, Haifa, IL; Weiner, Dan, Haifa, IL;  
Brokman, Shimshon, Haifa, IL

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Druckluftenergiespeicherverfahren und -system

⑤⑦ Druckluft-Energiespeicher (compressed air energy storage-CAES)-System, das in einer CAES gespeicherte Druckluft zur Erzeugung von elektrischer Energie und Kälte nutzt.

DE 44 10 440 A 1

## Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Druckluft-Energiespeicher(compressed air energy storage-CAES)-System und -Verfahren. Bei einem CAES-System wird elektrische Energie außerhalb der Spitzenzeiten genutzt, um Luft zu komprimieren, wobei die Druckluft in einem CAES-Behälter gespeichert wird und dann während Elektroenergiespitzenverbrauchszeiten zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt wird.

## Hintergrund der Erfindung

Der Energiebedarf in einem elektrischen System schwankt während des Tages erheblich, wobei es am Tage und in den frühen Abendstunden zu Spitzenbelastungen kommt und das Minimum während der Nacht auftritt. Ein Elektroenergie-Erzeugungssystem muß so konstruiert sein, daß es den Bedarf zu Spitzenbelastungszeiten deckt, und so wird außerhalb der Spitzenbelastungszeiten ein erheblicher Anteil der Kapazität eines Elektroenergieerzeugungssystems nicht genutzt.

Um die Wirtschaftlichkeit eines elektrischen Systems zu verbessern, ist es im allgemeinen wünschenswert, die überschüssige Kapazität außerhalb der Spitzenbelastungszeiten zu nutzen. Eine Nutzungsmöglichkeit besteht in der Speicherung von Energie außerhalb der Spitzenbelastungszeiten, die dann während der Spitzenverbrauchszeiten genutzt wird, um die Energieerzeugungskapazität zu erhöhen.

Es gibt verschiedene Einrichtungen zum Speichern von Energie für die spätere Erzeugung von Elektrizität einschließlich der Speicherung elektrischer Energie in elektrischen Batterien, des Pumpens von Wasser in einen höherliegenden Speicher, um anschließend dieses Wasser zum Antrieb einer Turbine zu nutzen, um Elektrizität während der Spitzenbelastungszeiten zu erzeugen, und auch ein CAES-System. In einem CAES-System wird unter Nutzung von Elektrizität außerhalb der Spitzenzeiten Luft durch einen elektrisch angetriebenen Kompressor komprimiert und in einem Druckluftbehälter gespeichert. Während der Elektrizitätsspitzenverbrauchszeiten wird die Druckluft freigesetzt und treibt Turbinen an, die Elektrizität erzeugen.

CAES-Systeme sind beispielsweise aus den USA-Patenten 3,677,008, 4,281,256, 4,391,552, 4,849,648, 4,237,629, 4,593,202, 4,765,142, 4,936,098 und 4,872,307 bekannt. CAES-Systeme umfassen im allgemeinen einen oder mehrere elektrisch betriebene Luftkompressoren (üblicherweise Niederdruckkompressoren in Reihe mit Hochdruckkompressoren), einen Kompressionsenergiespeicher oder -behälter, häufig unterirdische Höhlen, sowie Expansionsturbinen, die die Energie der Druckluft bei ihrer Ausdehnung zur Erzeugung elektrischer Energie nutzen.

Gegenwärtig verfügbare CAES-Systeme sind im allgemeinen mit verschiedenen Hilfseinheiten versehen, die den Wirkungsgrad des Systems verbessern sollen. Bei der Kompression steigt die Temperatur der Luft und diese Erwärmung verringert die Speicherkapazität des Systems. Um dieses Problem zu vermeiden, wurden im allgemeinen Kühler eingesetzt, die die Temperatur der aus den Kompressoren austretenden Luft verringern. Darüber hinaus wurden bei bisherigen CAES-Systemen verschiedene Energieverstärker eingesetzt, die

die Kapazität der Druckluft, die Turbine anzutreiben, erhöhen sollen. Derartige Energieverstärker waren beispielsweise verschiedene Heizeinrichtungen, Verbrennungseinrichtungen und ähnliches, die Premium-Brennstoff nutzten. Spezielle Arten derartiger Verstärker waren Wärmeenergie-Speichersysteme, die beim Kompressionsvorgang erzeugte Wärme speicherten, um später die sich ausdehnende Luft zu erwärmen, wodurch die Kapazität der Luft, die Turbine anzutreiben, zunahm.

## Zusammenfassung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung schafft ein neuartiges CAES-System und -Verfahren. Erfindungsgemäß wird kein Premium-Brennstoff oder gespeicherte Kompressionswärme genutzt, um die Elektrizitätserzeugungskapazität der aus dem CAES austretenden Luft zu erhöhen. Erfindungsgemäß werden zwei Ausführungen geschaffen. Bei einer Ausführung, die im folgenden manchmal als die "Kälteerzeugungsausführung" bezeichnet wird, wird der Energieerzeugungswirkungsgrad des Systems durch die Nutzung von aus den Expansionsturbinen austretender kalter Luft für die Kälteerzeugung erhöht. Bei dieser Ausführung wird die Wärme gekühlter Substanzen und Niedrigwärmequellen genutzt. Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung, die im folgenden als die "Kombinationsausführung" bezeichnet wird, wird das CAES-System mit Kälteerzeugung mit einer Gasturbineneinrichtung kombiniert, und es wird Wärme in Abgasen der Gasturbine genutzt, um die aus dem Druckluftbehälter austretende Luft zu erwärmen und so den Wirkungsgrad der Elektrizitätserzeugung durch das System zu verbessern.

Gemäß einer Ausführung der Erfindung wird ein CAES-System geschaffen, das umfaßt:

- einen Druckluftspeicherbehälter;
- einen oder mehrere Kompressoren, die atmosphärische Luft komprimieren und sie in den Behälter einleiten;
- einen oder mehrere Kühler, die mit den Kompressoren verbunden sind und die aus den Kompressoren austretende Druckluft kühlen;
- eine Elektromotoreinrichtung zum Antrieb des einen oder der mehreren Kompressoren;
- eine Generatoreinrichtung;
- eine oder mehrere Expansionsturbinen, die mit der Generatoreinrichtung verbunden sind und die Generator-einrichtung mittels der durch aus dem Behälter austretenden, sich ausdehnenden Druckluft erzeugten Energie antreiben; und
- Kühleinrichtungen, die zu der einen oder den mehreren Expansionsturbinen gehören und die gekühlte, sich ausdehnende Luft, die aus den Expansionsturbinen austritt, zur Kälteerzeugung nutzen.

Gemäß der einen Ausführung wird des weiteren ein CAES-Verfahren geschaffen, das umfaßt:

- das Komprimieren einer Menge Luft mittels einer oder mehrerer elektrisch angetriebener Kompressionsstufen, das Kühlen der aus jeder Kompressionsstufe austretenden Luft sowie das Einleiten der Druckluft in einen Druckluftbehälter; und bei Bedarf
- das Freigeben eines Teils der Druckluft und Sich-Ausdehnen-Lassen derselben in einer oder mehreren Expansionsstufen, die aus der sich ausdehnenden Luft Arbeit gewinnen, wobei die Arbeit zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt wird, und Nutzung der aus der einen oder den mehreren Expansionsstufen austretenden Luft für eine Kälteerzeugung.

Gemäß einer weiteren Ausführung der Erfindung

wird ein CAES-System geschaffen, das umfaßt:

einen Druckluftspeicherbehälter;  
einen oder mehrere Kompressoren, die atmosphärische Luft komprimieren und sie in den Behälter einleiten;  
einen oder mehrere Kühler, die mit den Kompressoren verbunden sind und die aus den Kompressoren austretende Druckluft kühlen;  
eine Elektromotoreinrichtung zum Antrieb des einen oder der mehreren Kompressoren;  
eine Generatoreinrichtung;  
eine oder mehrere Expansionsturbinen, die mit der Generatoreinrichtung verbunden sind und die Generatoreinrichtung mittels der durch aus dem Behälter austretenden, sich ausdehnenden Druckluft erzeugten Energie antreiben; und  
eine Einrichtung zum Erwärmen der aus dem Behälter austretenden Luft, wobei die Einrichtung ein Wärmetauscher ist, der den Abgasen einer Gasturbine Wärme entzieht.

Gemäß einer weiteren Ausführung wird des weiteren ein CAES-Verfahren geschaffen, das umfaßt:  
das Komprimieren einer Menge Luft mittels einer oder mehrerer elektrisch angetriebener Kompressionsstufen, das Kühlen der aus jeder Kompressionsstufe austretenden Luft und das Einleiten der Druckluft in einen Druckluftbehälter; und bei Bedarf  
das Freigeben eines Teils der Druckluft, das Erwärmen der Druckluft und das Sich-Ausdehnen-Lassen der erwärmten Druckluft in einer oder mehreren Expansionsstufen, die aus der sich ausdehnenden Luft Arbeit gewinnen, wobei die Arbeit zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt wird; das Komprimieren einer weiteren Menge Luft, das Verbrennen von Brennstoff in der Druckluft, das Ausdehnen der Verbrennungsgase, um so mechanische Arbeit zu gewinnen, und das Entziehen von Wärme aus den Verbrennungsgasen, wobei die Wärme zum Erwärmen genutzt wird.

Ein System gemäß der Kombinationsausführung kann darüber hinaus wie bei der Kälteerzeugungsausführung Kühleinrichtungen aufweisen.

Die Elektromotoreinrichtung und die Generatoreinrichtung sind typischerweise eine kombinierte Elektromotor-Generator-Einheit mit zwei Betriebsarten: einer ersten Betriebsart, in der sie unter Verwendung von elektrischer Energie, die aus dem Hauptelektrizitätssystem kommt, als Motor arbeitet; und einer zweiten Betriebsart, in der sie als Stromerzeuger dient und Elektrizität erzeugt, die anschließend dem Hauptsystem zugeführt wird.

Die Erfindung und ihre beiden Ausführungen, die jeweils verschiedene Abwandlungen aufweisen, werden in der folgenden Beschreibung spezieller Ausführungen unter gelegentlicher Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen dargestellt.

Die Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf spezielle Ausführungen bei gelegentlichem Verweis auf die beigelegten Zeichnungen dargestellt.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm eines CAES-Systems gemäß der Kälteerzeugungsausführung der Erfindung;

Fig. 2 zeigt eine Abwandlung der Ausführung in Fig. 1;

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm eines CAES-Systems gemäß der Kombinationsausführung der Erfindung; und

Fig. 4 und 5 zeigen Abwandlungen der Ausführung in Fig. 3.

#### Ausführliche Beschreibung der Erfindung

In der folgenden Beschreibung und den beigelegten Zeichnungen werden verschiedene Ausführungen der Erfindung beschrieben. In den Zeichnungen sind Bezugszeichen so verwendet worden, daß das Bauteil mit der gleichen Funktion in den verschiedenen Ausführungen ein Bezugszeichen erhalten hat, bei dem die letzten beiden Ziffern identisch sind (z. B. erfüllt Kompressor 111 in Fig. 1 eine ähnliche Funktion wie Kompressor 211 in Fig. 2 bzw. 3).

Es wird zunächst auf Fig. 1 Bezug genommen, die ein CAES-System darstellt, das Elektrizität außerhalb der Spitzenzeiten nutzt, um Energie in der Form von Druckluft zur anschließenden gleichzeitigen Erzeugung von Elektrizität und Kälte in Spitzenzeiten zu speichern. Das System umfaßt Kompressoren 111 und 112, Luft-Expansionsturbinen 113 und 114, Zwischenkühler 115 und Nachkühler 116, Zwischen- und Endkühleinrichtungen 117 und 118, eine wahlweise einzusetzende Heizeinrichtung 119, und einen Kompressionsenergie-Vorratsbehälter 123. Ventile 121 und 122 verbinden die letzte Kompressionsstufe 112 bzw. die erste Expansionsstufe 113 mit einem Druckluftenergie-Speicherbehälter 123. Der Behälter kann von jedem beliebigen, in der Technik bekannten Typ sein, wie beispielsweise eine Salz- oder Felsenhöhle, ein Aquifer-Speicher, ein Speichertank usw.

Das System umfaßt des weiteren eine kombinierte Elektromotor-Generator-Einheit 124, die über Kuppelungen 126 und 127 mit Kompressoren 111 und 112 bzw. Expansionsturbinen 113 und 114 verbunden ist.

Die in Fig. 1 dargestellte Ausführung umfaßt zwei Kompressoren 111 und 112, wobei der erste ein Niederdruckkompressor und der zweite ein Hochdruckkompressor ist. Das in Fig. 1 dargestellte System umfaßt desgleichen zwei Expansionsstufen 113 und 114. Der Fachmann weiß zweifellos, daß anstelle einer Zweistufen-Kompression oder einer Zweistufen-Expansion das System auch drei oder mehr Kompressions- bzw. Expansionsstufen aufweisen kann. Darüber hinaus kann das System ebenfalls eine Vielzahl von Kompressoren oder Expansionsturbinen umfassen, die parallel verbunden sind und arbeiten. Desgleichen können die in Fig. 2 bis 5 dargestellten und weiter unten beschriebenen Ausführungen wie die Ausführung in Fig. 1 eine andere als die dargestellte Anzahl von Kompressions- und Expansionsstufen umfassen.

Die in dem erfindungsgemäßen System eingesetzten Kompressoren und Expansionsturbinen können eine beliebige einer Vielzahl in der Technik bekannter Arten von Kompressoren bzw. Expansionsturbinen sein.

Zwischenkühler 115 und Nachkühler 116 sind Wärmetauscher, die der Kühlung der aus den Kompressoren 111 bzw. 112 austretenden Druckluft dienen. Die Kühler können von einer beliebigen, in der Technik bekannten Art sein, und beruhen typischerweise auf dem Wärmeaustausch mit Wasser oder mit Luft, die über an sich bekannte Rohrleitungen, Pumpen, Gebläse (in den Zeichnungen nicht dargestellt) aus der Umgebung zugeführt werden. Die Kühler können einen Wasserabscheider aufweisen, der der Luft kondensiertes Wasser entzieht, wobei das Wasser anschließend den Abnehmern zugeführt werden kann.

Kühleinrichtungen 117 und 118 sind Wärmetauscher, in denen die aus den Expansionsturbinen austretende Luft zur Kühlung von Flüssigkeiten, Gasen, verschiedenen Substanzen, Materialien und Vorrichtungen genutzt

wird.

Das System gemäß der in Fig. 1 dargestellten Ausführung, umfaßt, wie auch das der anderen, in Fig. 2 bis 5 dargestellten, Ausführungen, eine kombinierte Elektromotor-Generatoreinheit (124 in Fig. 1), die über Kupplungen (126 und 127 in Fig. 1) mit Kompressoren (111 und 112 in Fig. 1) bzw. Expansionsturbinen (113 und 114 in Fig. 1) verbunden ist. Es liegt für den Fachmann zweifellos auf der Hand, daß ein erfindungsgemäßes System anstelle einer kombinierten Motor-Generator-Einheit ebenfalls einen separaten Elektromotor umfassen kann, der die Kompressoren antreibt, sowie einen separaten Generator, der durch die Expansionsturbinen angetrieben wird. Es ist darauf hinzuweisen, daß ein System, das einen Elektromotor und einen Generator separat umfaßt, in einer Betriebsart arbeiten kann, in der Luft komprimiert wird und gleichzeitig zur Erzeugung von Elektrizität und Kälte genutzt wird.

Außerhalb der Spitzenzeiten dient das CAES-System dazu, Behälter 123 mit Druckluft zu füllen. Während dieser Zeiten ist Kupplung 126 eingekuppelt, und Kupplung 127 ist ausgekuppelt, Ventil 121 ist geöffnet, und Ventil 122 ist geschlossen. Motor-Generator 124 nutzt elektrische Energie, die von der Haupteinrichtung kommt, um die Kompressoren 111 und 112 anzutreiben. Luft, die durch Lufteinlaß 128 eintritt, wird durch die Kompressoren 111 und 112 komprimiert, und die Druckluft tritt über Ventil 121 in Behälter 123 ein. Während der Kompression wird die Luft erwärmt, und anschließend wird erwärmte Luft durch Zwischenkühler 115 und Nachkühler 116 abgekühlt; die Kühlung durch Zwischenkühler 115 verringert die durch Kompressor 112 verbrauchte Energie und die Kühlung durch Nachkühler 116 erhöht die Dichte der Druckluft und erhöht damit die Speicherkapazität von Behälter 123.

Während der Elektroenergiespitzenverbrauchszeiten wird die im Behälter 123 gespeicherte Druckluft für die kombinierte Erzeugung von elektrischer Energie und Kälte genutzt. In dieser Betriebsart ist Ventil 121 geschlossen, Ventil 122 ist geöffnet, Kupplung 127 ist eingekuppelt, und Kupplung 126 ist ausgekuppelt. Dadurch treibt die sich in den Expansionsturbinen 113 und 114 ausdehnende Luft Motor-Generator 124 an, der anschließend der Haupteinrichtung Elektrizität zuführt. Bei der Ausdehnung wird die sich ausdehnende Luft auf niedrige Temperaturen abgekühlt, und diese Luft dient der Kälteerzeugung in den Kühleinrichtungen 72 und 73. Die verbrauchte Luft tritt anschließend über Auslaß 119 aus dem System aus. Bei Elektroenergiespitzenbedarf, der mit hohem Kältebedarf zusammenfällt, beispielsweise an heißen Sommertagen, kann die in den Kühleinrichtungen 117 und 118 erzeugte Kälte direkt zum Kühlen in angeschlossenen Einrichtungen verwendet werden.

Wenn die erzeugte Kälte nicht genutzt werden kann, und bei Elektroenergieverbrauchspitzenzeiten, die nicht mit hohem Kältebedarf zusammenfallen, beispielsweise in den Abendstunden im Winter, kann die Kapazität des Systems von einer kombinierten Erzeugung von Elektrizität und Kälte auf eine höhere Erzeugung von Elektrizität umgeschaltet werden. In dieser Betriebsart ist die Endkühleinrichtung 118 lastfrei und die wahlweise Lufterwärmungseinrichtung 119 kann verwendet werden, um die Ausgangsleistung der Expansionsturbinen 113 und 114 zu erhöhen. Darüber hinaus kann Wärmetauscher 117 auch im Umkehrbetrieb eingesetzt werden, d. h., um die aus Expansionsturbine 113 austretende Luft zu erwärmen, bevor sie in Expansionsturbine 114 ein-

tritt. Die Erwärmung in Erwärmungseinrichtung 119 und Wärmetauscher 117 kann durch die umgebende Luft oder Wasser, durch Sonnenenergie, durch Verwendung von Warmwasser oder Dampf aus Industrieanlagen, durch verschiedene Abwärmequellen, oder durch andere Niedrigwärmequellen usw. erreicht werden.

In zwei anderen Betriebsarten sind die Kupplungen 126 und 127 eingekuppelt, die Ventile 121 und 122 sind offen, wodurch die Kompressoren und die Expansionsturbinen gleichzeitig arbeiten. In einer dieser Betriebsarten, in der die Kompressor-Strömungsgeschwindigkeit höher ist als die Luftströmungsgeschwindigkeit in den Expansionsturbinen, verbraucht das System elektrische Energie aus der Haupteinrichtung und erzeugt gleichzeitig Kälte und Druckluft, die den CAES-Behälter füllt. In einer anderen dieser Betriebsarten, in der die Kompressor-Strömungsgeschwindigkeit niedriger ist als die Luftströmungsgeschwindigkeit in der Expansionsturbine arbeitet das System auf ähnliche Weise, verbraucht jedoch, statt dem Behälter Luft zuzuführen, Luft daraus, um Kälte und elektrische Energie zu erzeugen.

Im folgenden wird auf Fig. 2 Bezug genommen, die eine Ausführung der Erfindung zeigt, die eine Abwandlung der in Fig. 1 dargestellten Ausführung ist. Das System gemäß der Ausführung in Fig. 2 unterscheidet sich von dem in Fig. 1 hauptsächlich darin, daß anstelle separater Kühler 115 und 116 und Kühleinrichtungen 117 und 118 die gleichen Wärmetauscher 241 und 242 eingesetzt werden, um beide Funktionen zu erfüllen.

Im Kompressionsbetrieb der Ausführung in Fig. 2 sind die Ventile 231, 232, 233 und 221 geöffnet, während die Ventile 222, 234, 236, 237 und 238 geschlossen sind, Kupplung 226 ist eingekuppelt, und Kupplung 227 ist ausgekuppelt. Elektroenergie, die dem Motor-Generator 224 zugeführt wird, treibt die Kompressoren 211 und 212 an, wodurch durch Lufteinlaß 228 eintretende Luft durch die Kompressoren 211 und 212 strömt, und die Druckluft tritt durch Ventil 221 in Behälter 223 ein. Wärmetauscher 241 und 242 werden verwendet, um, ähnlich wie der Zwischenkühler und der Nachkühler 115 und 116 in Fig. 1, die aus Expansionsturbine 211 bzw. 212 austretende Luft zu kühlen.

Während der Expansionsbetriebsart sind die Ventile 231, 232, 233 und 221 geschlossen, und die Ventile 222, 234, 236, 237 und 238 sind geöffnet. Darüber hinaus ist Kupplung 227 eingekuppelt, und Kupplung 226 ist ausgekuppelt. Dadurch strömt in Behälter 223 gespeicherte Luft durch Ventil 222, Expansionsturbine 213, Wärmetauscher 242, Expansionsturbine 214, Wärmetauscher 241 und tritt anschließend durch Abgasauslaß 229 aus. In dieser Betriebsart dienen, ähnlich wie die Kühleinrichtung 117 und 218 in der in Fig. 1 dargestellten Ausführung, Wärmetauscher 241 und 242 als Kühleinrichtungen. Während des Expansionsbetriebes wird in den Wärmetauschern 241 und 242 Kälte erzeugt, die anschließend wie bei der Ausführung in Fig. 1 genutzt werden kann.

Wenn die erzeugte Kälte nicht benötigt wird, oder wenn Elektroenergieverbrauchspitzenzeiten nicht mit Kältebedarf-Spitzenzeiten zusammenfallen, können die Wärmetauscher 219 und 242 verwendet werden, um die aus CAES 223 austretende sich ausdehnende Luft zu erwärmen, wodurch die Elektroenergieerzeugungskapazität des Systems verstärkt wird. Die Erwärmung kann in dieser Betriebsart auf die gleiche Weise wie in der entsprechenden Betriebsart der Ausführung in Fig. 1 ausgeführt werden.

Im folgenden wird auf Fig. 3 Bezug genommen, die ein System gemäß der Kombinationsausführung umfaßt. Hinsichtlich der Erläuterung von Bauteilen mit der gleichen Funktion wie die entsprechenden Bauteile in der Ausführung in Fig. 1 und 2 wird der Leser auf die Beschreibung dieser vorangehenden Ausführungen verwiesen.

Das CAES-System in Fig. 3 umfaßt die folgenden drei Untersysteme:

- (a) ein Druckluft-Untersystem, das die Kompressoren 311 und 312 umfaßt; Expansionsturbine 313; Motor-Generator-Einheit 324; Kühler 315 und 316; Druckluftbehälter 323; und die dazu gehörenden Bauteile;
- (b) Hauptwärmetauscher 347; und
- (c) Gasturbinen-Untersystem 348.

Das Gasturbinen-Untersystem umfaßt eine Gasexpansionsturbine 351, Verbrennungseinrichtung 352, Gasturbinenkompressor 353 und einen Generator 354 auf einer gemeinsamen Welle mit der Expansionsturbine und dem Kompressor. Die Expansionsturbine, der Kompressor, die Verbrennungseinrichtung und der Generator können eine Vielzahl derartiger, in der Technik bekannter Einrichtungen sein.

Der Abgasauslaß 356 von Expansionsturbine 351 ist mit Wärmetauscher 347 verbunden, der wiederum mit Abgasauslaß 357 verbunden ist. Umgehungsleitung 358, die mit Ventil 359 versehen ist, ermöglicht das Ableiten von Gasen aus Auslaß 356 direkt zum Abgasauslaß 357, wenn das Druckluft-Untersystem nicht benötigt wird.

Im Wärmetauscher 347 wird Wärme aus den aus Expansionsturbine 351 austretenden Gasen auf die aus Behälter 323 austretende, sich ausdehnende Luft übertragen, wodurch die sich ausdehnende Luft erwärmt wird, und normalerweise lassen sich Parameter der Luft erzielen, die einen Druck von 40-70 bar und eine Temperatur von 350—500°C erreichen.

Einer der Vorteile des Systems gemäß der kombinierten Ausführung besteht darin, daß, wenn das CAES-Untersystem nicht genutzt werden kann, das gesamte System dennoch durch den Einsatz des Gasturbinen-Untersystems zur Zufuhr von Elektrizität zur Haupteinrichtung verwendet werden kann.

Das System der in Fig. 3 dargestellten Ausführung weist drei Betriebsarten auf. In einer ersten Betriebsart, die im wesentlichen mit der entsprechenden Betriebsart der Ausführung in Fig. 1 und 2 übereinstimmt, wird der Behälter mit Druckluft gefüllt.

In der zweiten Betriebsart, die während der Elektroenergieverbrauchsspitzenzeiten verwendet wird, wird die Druckluft durch Expansionsturbine 313 abgelassen und treibt Motor-Generator-Einheit 324 an, um Elektrizität zu erzeugen. Gleichzeitig wird das Gasturbinen-Untersystem des weiteren zur Erzeugung von Elektrizität eingesetzt. Im Gasturbinen-Untersystem wird atmosphärische Luft im Kompressor 353 komprimiert, und mittels der Verbrennungseinrichtung 352 zugeführtem Kraftstoff wird die Druckluft erwärmt, wodurch die Gase mit hoher Temperatur Expansionsturbine 351 antreiben, so daß Generator 354 über die gemeinsame Welle von Expansionsturbine 351, Kompressor 353 und Generator 354 angetrieben wird und Elektrizität erzeugt. Die durch Generator 354 erzeugte Elektrizität wird anschließend der Haupteinrichtung zugeführt.

Heiße Abgase, die aus Expansionsturbine 351 austre-

ten, strömen durch Wärmetauscher 347, und erwärmen die aus Behälter 323 abgelassene Druckluft. Die erwärmte Luft dehnt sich in Expansionsturbine 313 aus und erzeugt Arbeit, die Motor-Generator-Einheit 324 antreibt, die der Haupteinrichtung elektrische Energie zuführt.

Gewöhnlich ist die Temperatur der Luft nach dem Passieren von Expansionsturbine 313 niedrig. So kann beispielsweise bei einem Ausgangsdruck von 50 bar und einer Temperatur von 400°C, die Endlufttemperatur bei ungefähr -24°C liegen. Im allgemeinen kann, durch entsprechende Auswahl von Anfangswerten der Lufttemperatur und des Drucks eine Temperatur erreicht werden, die unter der Umgebungstemperatur liegt. Dadurch kann die aus Expansionsturbine 313 austretende Abluft durch den Einsatz von mit den Expansionsturbinen verbundenen Kühleinrichtungen (nicht dargestellt) auf ähnliche Weise wie in den Ausführungen in Fig. 1 und 2 dargestellt zur Kälteerzeugung genutzt werden.

In einer dritten Betriebsart ist das Druckluft-Untersystem nicht aktiv, Ventil 359 ist geöffnet, wodurch aus der Expansionsturbine 351 austretende Abgase durch Umgehungsleitung 358 strömen. In diesem Betriebszustand erzeugt nur eine Gasturbine elektrische Energie.

Im folgenden wird auf Fig. 4 Bezug genommen, die eine Abwandlung der in Fig. 3 dargestellten Ausführung ist. Die Ausführung in Fig. 4 gleicht im wesentlichen der in Fig. 3, umfaßt jedoch Ventile 466, 467 und 468, die in Luftleitungen 461 oder 462 bzw. 463 eingesetzt sind, und umfaßt des weiteren Strömungswiderstandseinheiten 471 und 472, die in die Abgasleitung von Expansionsturbine 413 bzw. Lufteinlaßleitung von Kompressor 453 eingesetzt sind. Die Ventile 466 und 467 steuern gemeinsam den Strom aus Behälter 423 austretender Luft durch Wärmetauscher 447. Wenn Ventil 466 geschlossen ist, strömt die gesamte aus Behälter 423 austretende Luft durch Wärmetauscher 447, wo sie die Temperatur der der Expansionsturbine 413 zugeführten Luft auf ein Maximum erhöht. Wenn jedoch der Wunsch besteht, auf ähnliche Weise wie bei den Ausführungen in Fig. 1 und 2 Kälte zu erzeugen, ist es im allgemeinen wünschenswert, die Luft nicht übermäßig zu erwärmen, und daher wird die sich ausdehnende Luft dazu gezwungen, durch Leitung 461 zu strömen und so Wärmetauscher 447 zu umgehen. Die Ventilsysteme 466 und 467 steuern im wesentlichen die Temperatur von in Expansionsturbine 413 eintretender Luft und damit die Temperatur der aus Expansionsturbine 413 austretenden Abluft.

Aufgrund der Strömungswiderstandseinheit 471 strömt, wenn Ventilsystem 468 geöffnet ist, ein Teil der aus Expansionsturbine 413 austretenden Abluft durch Leitung 463 und vermischt sich mit der in Gasturbinenkompressor 453 eintretenden Luft. Dadurch wird die Gasturbine mit kalter Luft mit hoher Dichte gespeist, wodurch die Ausgangsleistung und der Wirkungsgrad der Gasturbine zunehmen. Durch genaue Steuerung des Luftstroms in Leitung 463 mittels Ventil 468 wird die Temperatur der in Gasturbinenkompressor 453 eintretenden Luft genau gesteuert.

Im folgenden wird auf Fig. 5 Bezug genommen, die eine Ausführung der Erfindung zeigt, die der in Fig. 4 stark ähnelt. Die Ausführung in Fig. 5 unterscheidet sich dahingehend von der Ausführung in Fig. 4, daß statt der direkten Einleitung von Abluft aus Expansionsturbine 413 in Gasturbinenkompressor 453 diese Abluft durch Wärmetauscher 573 geleitet wird, wo sie die in Gasturbinenkompressor 553 eintretende Luft kühlt. Diese Aus-

führung ist dort von Nutzen, wo es beispielsweise zur Sauerstoffverarmung in dem Behälter kommt, wie dies der Fall ist, wenn der Behälter ein Aquifer-Speicher ist.

Wie dem Fachmann ohne Zweifel klar ist, sind die hier in obenstehendem Text und den beigefügten Zeichnungen speziell beschriebenen Ausführungen Beispiele und sollten nicht einschränkend aufgefaßt werden.

#### Patentansprüche

1. CAES-System, das umfaßt:  
einen Druckluftspeicherbehälter (123);  
einen oder mehrere Kompressoren (111, 112), die atmosphärische Luft komprimieren und sie in den Behälter (123) einleiten;  
einen oder mehrere Kühler (115, 116), die mit den Kompressoren (112, 113) verbunden sind und die aus den Kompressoren austretende Druckluft kühlen;  
eine Elektromotoreinrichtung (124) zum Antrieb des einen oder der mehreren Kompressoren;  
eine Generatoreinrichtung (124);  
eine oder mehrere Expansionsturbinen (113, 114), die mit der Generatoreinrichtung (124) verbunden sind und die Generatoreinrichtung (124) mittels der durch aus dem Behälter austretenden, sich ausdehnenden Druckluft erzeugten Energie antreiben; und  
Kühleinrichtungen (117, 118), die zu der einen oder den mehreren Expansionsturbinen (113, 114) gehören und die gekühlte, sich ausdehnende Luft, die aus den Expansionsturbinen austritt, zur Kälteerzeugung nutzen.
2. System nach Anspruch 1, das eine kombinierte Elektromotor- und Generatoreinrichtung (124) umfaßt.
3. System nach Anspruch 1 oder 2, das Wärmetauscher (241, 242) umfaßt, die sowohl als Kühler als auch als Kühleinrichtungen dienen.
4. System nach einem der Ansprüche 1—3, das Einrichtungen (119, 219) zum Erwärmen von aus dem Behälter austretender Luft vor ihrem Eintritt in die Expansionsturbinen umfaßt.
5. System nach einem der Ansprüche 1—4, das zwei oder mehr Expansionsturbinen (113, 114) umfaßt, wobei die Kühleinrichtung (117) im Umkehrbetrieb eingesetzt werden kann, um aus einer Expansionsturbine (113) austretende Luft vor ihrem Eintritt in eine weitere Expansionsturbine (114) zu erwärmen.
6. System nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Wärme zum Erwärmen der Luft aus einer anderen Quelle als einer Premium-Brennstoffquelle bezogen wird.
7. CAES-System, das umfaßt:  
einen Druckluftspeicherbehälter (323);  
einen oder mehrere Kompressoren (311, 312), die atmosphärische Luft komprimieren und sie in den Behälter (323) einleiten;  
einen oder mehrere Kühler (315, 316), die mit den Kompressoren (311, 312) verbunden sind und die aus den Kompressoren austretende Druckluft kühlen;  
eine Elektromotoreinrichtung (324) zum Antrieb des einen oder der mehreren Kompressoren;  
eine Generatoreinrichtung (324);  
eine oder mehrere Expansionsturbinen (313), die mit der Generatoreinrichtung (324) verbunden sind und die Generatoreinrichtung mittels der durch die

aus dem Behälter austretenden, sich ausdehnenden Druckluft erzeugten Energie antreiben; und eine Einrichtung zum Erwärmen der aus dem Behälter (347) austretenden Luft, wobei die Einrichtung ein Wärmetauscher ist, der den Abgasen (350) einer Gasturbine (348) Wärme entzieht.

8. System nach Anspruch 7, das Umgehungseinrichtungen (461, 466) umfaßt, die es ermöglichen, den Anteil der aus dem Behälter (423) austretenden, sich ausdehnenden Luft zu steuern, der den Wärmetauscher (447) passiert, wodurch die Temperatur der in die eine oder mehreren Expansionsturbinen (417) eintretenden Luft gesteuert werden kann.

9. System nach Anspruch 7 oder 8, das Einrichtungen (463, 468) zur Zufuhr von aus der einen oder den mehreren Expansionsturbinen (413) austretenden Luft in die Gasturbine umfaßt, wodurch die Temperatur der in den Gasturbinenkompressor (453) eintretenden Luft gesteuert wird.

10. System nach Anspruch 7 oder 8, das eine Einrichtung zum Kühlen der in den Kompressor (553) der Gasturbine (548) eintretenden Luft umfaßt, wobei die Einrichtung aus einem Wärmetauscher (573) besteht, der mit aus der einen oder den mehreren Expansionsturbinen (513) austretenden Luft gespeist wird, wodurch die kalte Luft die in den Gasturbinenkompressor eintretende Luft kühlt.

11. System nach einem der Ansprüche 7—10, das mit der einen oder den mehreren Expansionsturbinen (413) verbundene Kühleinrichtungen umfaßt, die gekühlte, sich ausdehnende Luft, die aus den Expansionsturbinen austritt, zur Erzeugung von Kälte nutzen.

12. CAES-Verfahren das umfaßt:

das Komprimieren einer Menge Luft mittels einer oder mehrerer elektrisch angetriebener Kompressionsstufen, das Kühlen der aus jeder Kompressionsstufe austretenden Luft sowie das Einleiten der Druckluft in einen Druckluftbehälter; und bei Bedarf

das Freigeben eines Teils der Druckluft und Sich-Ausdehnen-Lassen derselben in einer oder mehreren Expansionsstufen, die aus der sich ausdehnenden Luft Arbeit gewinnen, wobei die Arbeit zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt wird, und Nutzung der aus der einen oder den mehreren Expansionsstufen austretenden Luft für eine Kälteerzeugung.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei ein Teil der aus der einen oder den mehreren Kompressionsstufen austretenden Druckluft in der einen oder den mehreren Expansionsstufen direkt zur Erzeugung von Arbeit und Kälte genutzt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die aus der einen oder den mehreren Kompressionsstufen austretende Luft mit aus dem Behälter abgelassener Luft gemischt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12—14, wobei die abgelassene Luft vor der Ausdehnung erwärmt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei die Luft durch eine andere Quelle als eine Premium-Brennstoff-Wärmequelle erwärmt wird.

17. CAES-Verfahren das umfaßt:

das Komprimieren einer Menge Luft mittels einer oder mehrerer elektrisch angetriebener Kompressionsstufen, das Kühlen der aus jeder Kompressionsstufe austretenden Luft und das Einleiten der

Druckluft in einen Druckluftbehälter; und bei Bedarf

das Freigeben eines Teils der Druckluft, das Erwärmen der Druckluft und das Sich-Ausdehnen-Lassen der erwärmten Druckluft in einer oder mehreren Expansionsstufen, die der sich ausdehnenden Luft Arbeit entziehen, wobei die Arbeit zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt wird; das Komprimieren einer weiteren Menge Luft, das Verbrennen von Brennstoff in der Druckluft, das Ausdehnen der Verbrennungsgase, um so mechanische Arbeit zu gewinnen, und das Entziehen von Wärme aus den Verbrennungsgasen, wobei die Wärme zum Erwärmen genutzt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Temperatur der aus der einen oder den mehreren Expansionsstufen austretenden Luft unterhalb der Umgebungstemperatur liegt und zur Kälteerzeugung genutzt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die weitere Menge Luft vor der Kompression durch die aus der einen oder den mehreren Expansionsstufen austretende Luft gekühlt wird.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

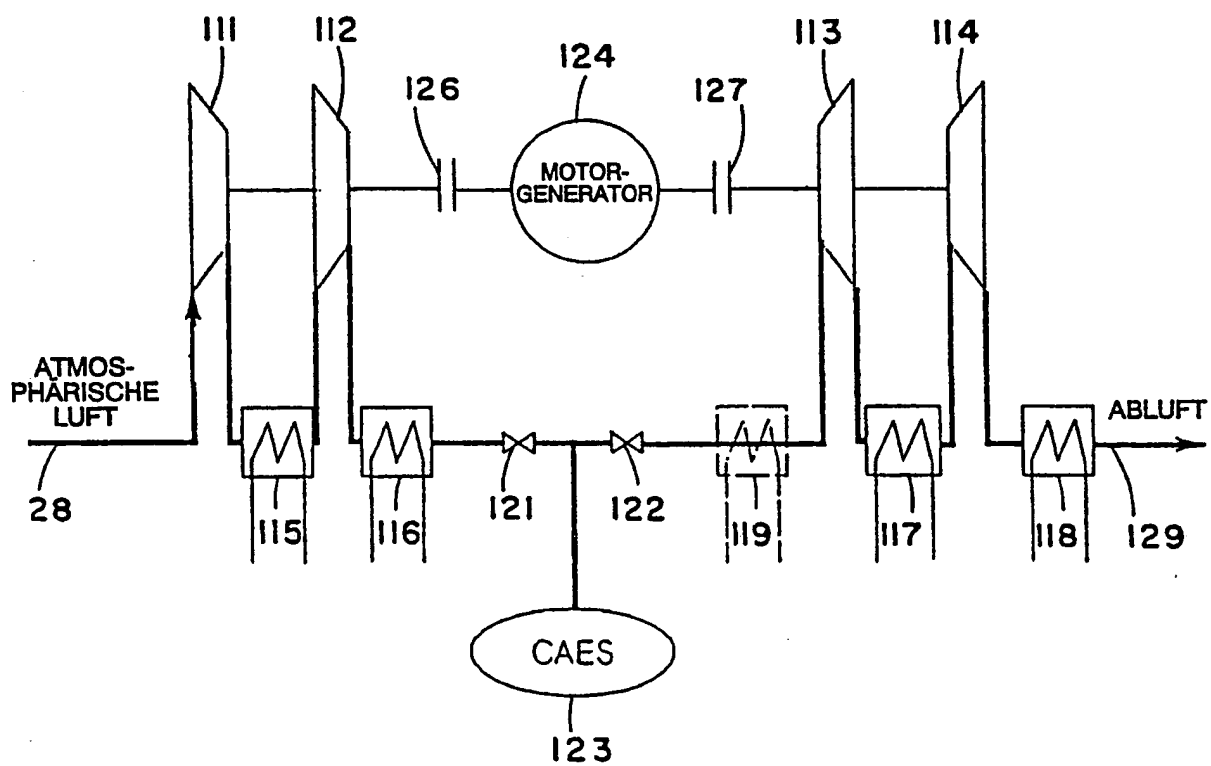




Fig. 2

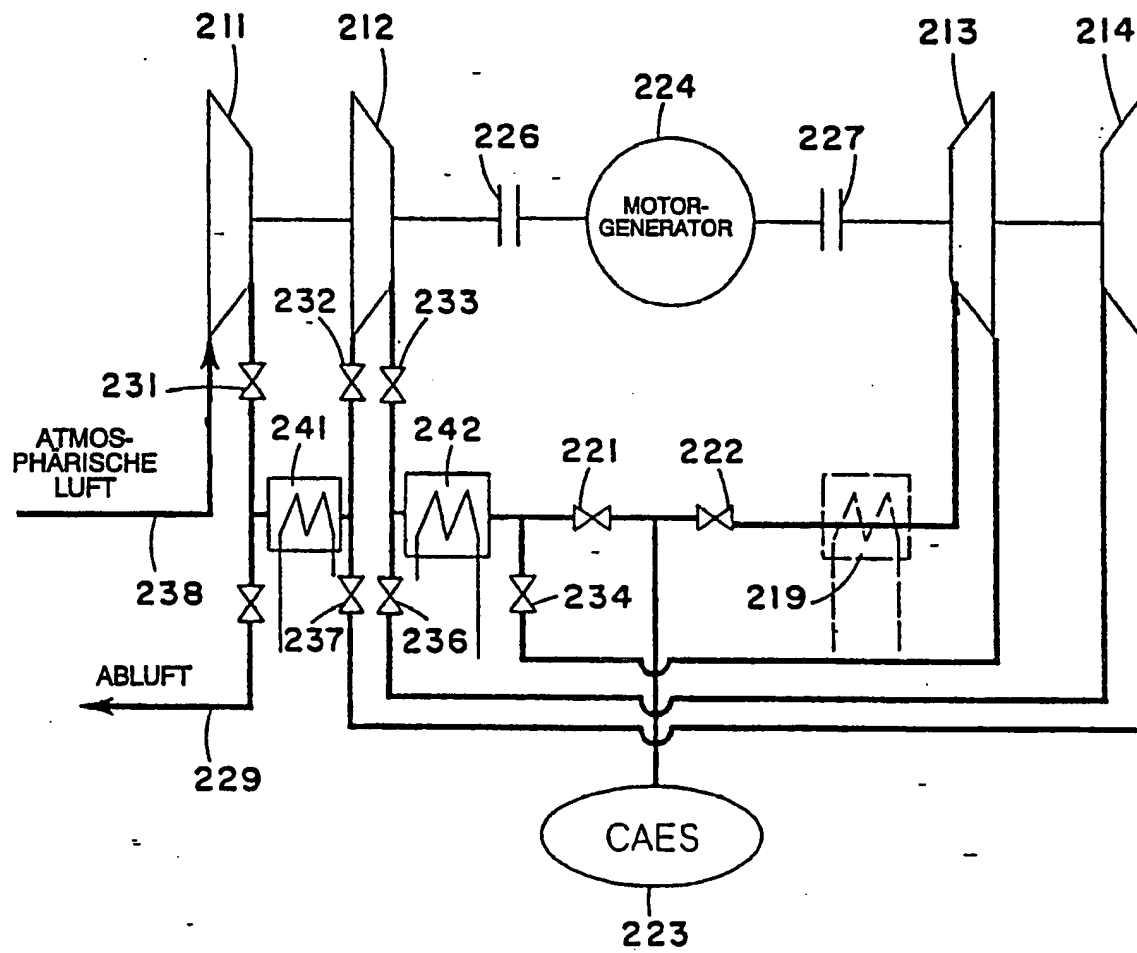


Fig. 3

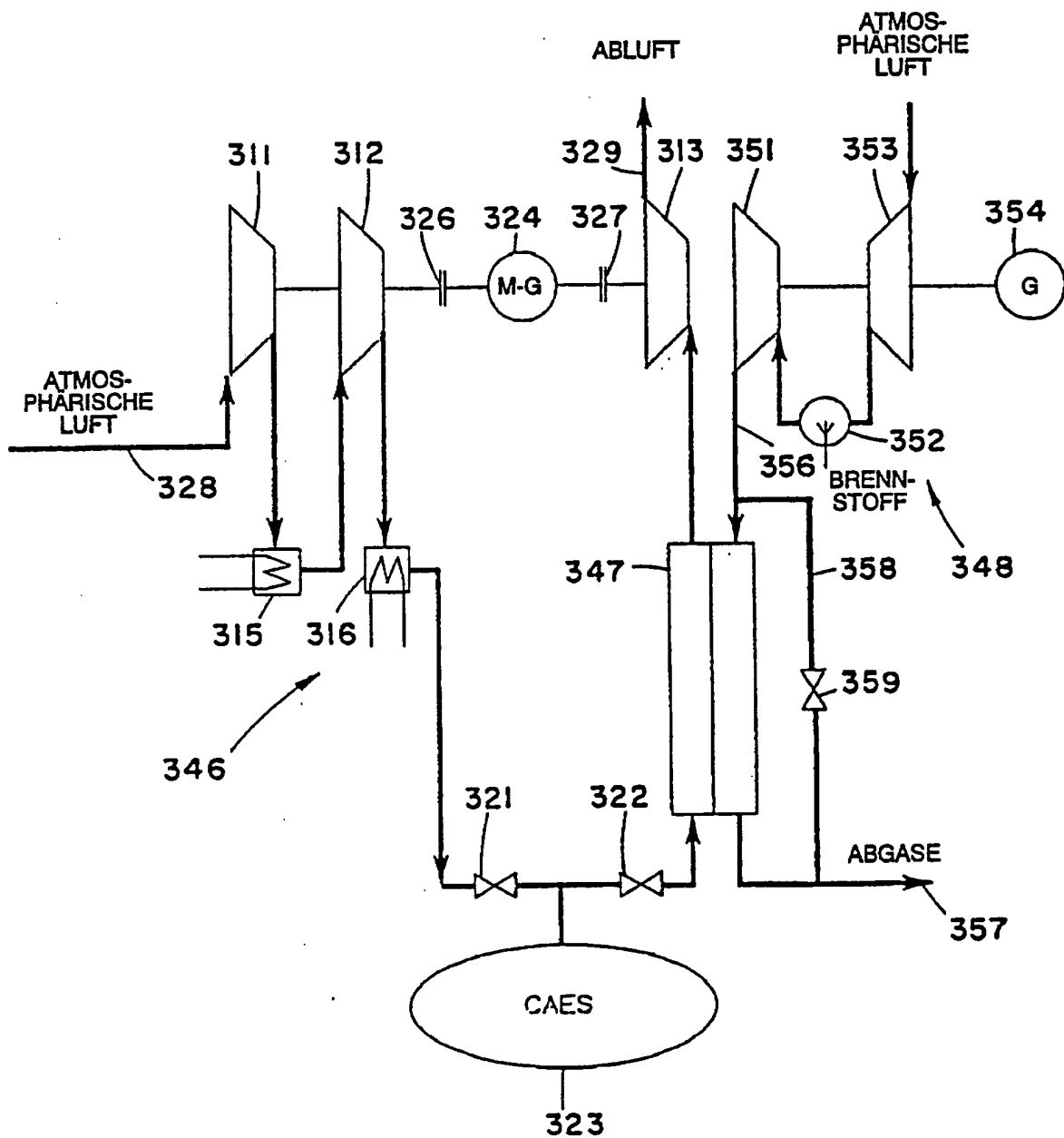


Fig. 4

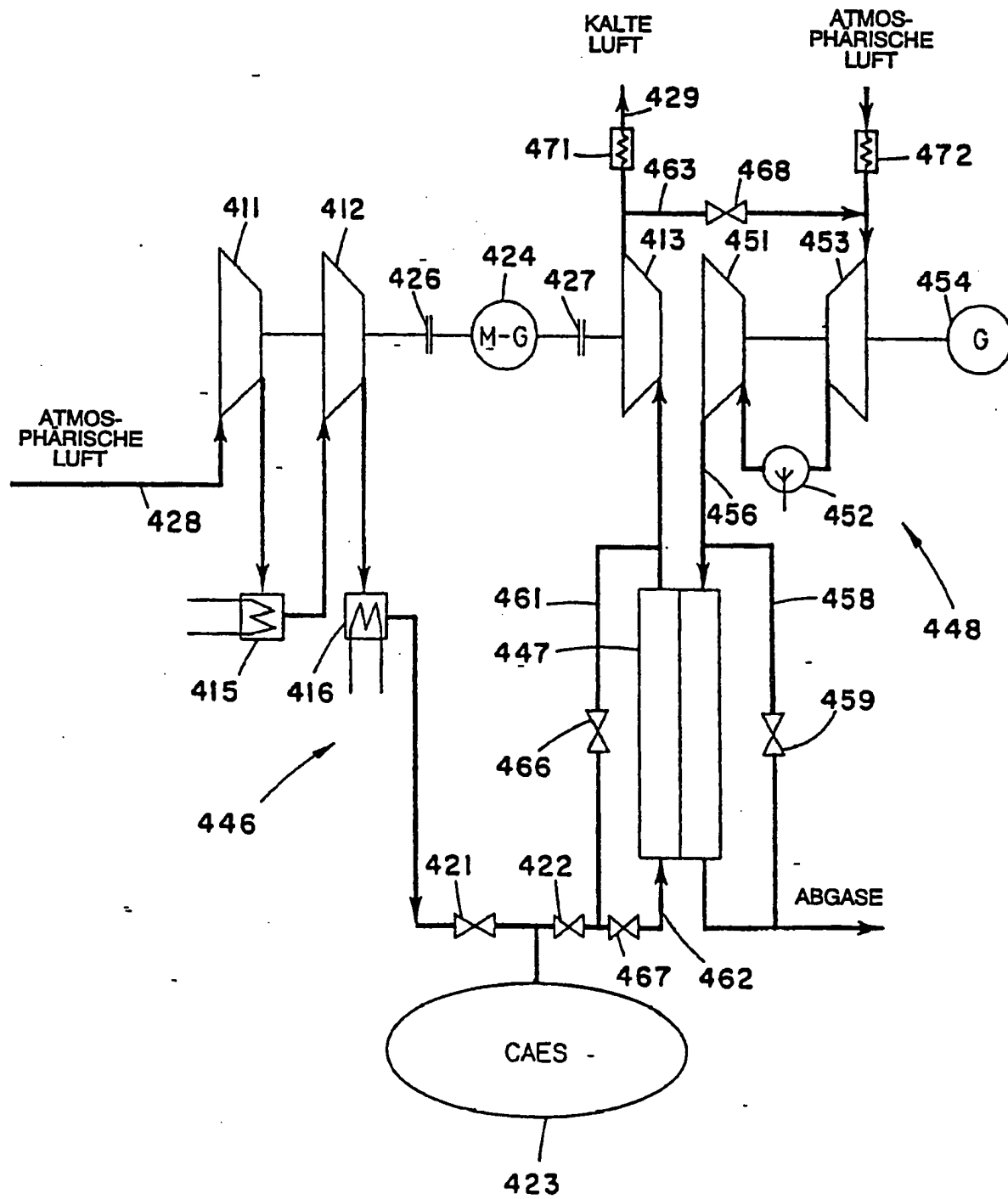


Fig. 5

